

Aus der Medizinischen Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. C. Korth

Die Elastizität der arteriellen Gefäßwände bei ausdauertrainierten Alterssportlern

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt
von
Werner Wieluch
aus
Friedeck

D 29

1971 № 398

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg

Dekan: Prof. Dr. med. G. Koch

Referent: Professor Dr. med. C. Korth

Tag der mündlichen Prüfung: 24. August 1971

Sonderdruck

actuelle gerontologie

Herausgegeben von:

A. Störmer, München

D. Michel, München

In Gemeinschaft mit:

F. Heim, Erlangen

K. G. Specht, Nürnberg

H. Thomae, Bonn

Georg Thieme Verlag, D-7 Stuttgart 1, Postfach 732

Band 1

Stuttgart, im Juni 1971

Heft 6

Nachdruck nur mit Genehmigung des Verlages gestattet



Die Elastizität der arteriellen Gefäße bei ausdauer-trainierten Alterssportlern

Aus der Medizinischen Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
(Direktor: Prof. Dr. C. Korth)

5

In den letzten 70 Jahren ist die mittlere Lebenserwartung in zivilisierten Ländern um rund 30 Jahre angestiegen. Mit der höheren Lebenserwartung ist nicht nur die Anzahl der alten Menschen, sondern auch die Häufigkeit von Alterskrankheiten angestiegen. Eine besondere Stellung nimmt hier die Arteriosklerose mit ihren Komplikationen ein, der das besondere Interesse der klinischen Gerontologie gilt.

Unter den Faktoren, die die Arteriosklerose begünstigen, ist die körperliche Inaktivität vor allem durch die fortschreitende Automatisierung von Bedeutung. Aktive Bewegung und Kreislauftraining gelten daher als wichtige Bestandteile einer sinnvollen Prävention von Arteriosklerose und der sie komplizierenden Erkrankungen.

Wenn die aktive Bewegung tatsächlich die ihr zugeschriebenen Erwartungen erfüllen sollte, so muß sich dies im besonderen Maße an der Leistungsfähigkeit des kardiopulmonalen Systems und insbesondere des arteriellen Gefäßsystems ausdauertrainierter alter Männer nachweisen lassen.

Nachdem über die kardiopulmonalen Befunde bei auf Ausdauer trainierten Alterssportlern bereits berichtet wurde (Lang und Haas, Lang und Schmidt), interessiert uns in der vorliegenden Arbeit vor allem die Frage, wie es um die Elastizität der Gefäße von Alterssportlern bestellt ist, das heißt, wie sich Pulswellengeschwindigkeit und Volumenelastizität verhalten, besonders aber, ob die gewonnenen Befunde bei diesen Probanden günstiger liegen als bei Untrainierten. Ferner soll es Aufgabe dieser Arbeit sein, zu prüfen, ob zwischen der Elastizität der Gefäße und der effektiven körperlichen Leistungsfähigkeit ein Zusammenhang besteht.

Methodik

1. Die Untersuchten

Es wurden über 100 Männer im Alter von 55 bis 80 Jahren untersucht, und zwar konnten die Ergebnisse von 76 Probanden ausgewertet werden. Von diesen waren 22 55 – 60 Jahre, 28 61 – 65 Jahre, 16 66 – 70 Jahre und 10 71 – 80 Jahre alt. Die Versuchspersonen waren ausnahmslos Langstreckenläufer, die meist schon von frühester Jugend an regelmäßig trainierten. Einige hatten zwar im Laufe der Jahre öfters pausiert, aber alle hatten in einem längeren Zeitraum vor der Untersuchung wieder begonnen, regelmäßig längere Strecken zu laufen.

2. Der Untersuchungsgang

Alle Untersuchungen wurden an einem Tag in der Zeit von 10 bis 19 Uhr in einem extraklinischen Labor durchgeführt. Zur synchronen Aufzeichnung der Kurven bedienten wir uns eines 6fach-Schreibers der Firma Siemens (Typ Cardirex), bei dem die Kanäle folgendermaßen belegt waren: Kanal 1 war für die Aufzeichnung eines Elektrokardiogramms bestimmt. In den Kanälen 2 bis 4 wurde ein Phonokardiogramm in drei verschiedenen Frequenzabstimmungen registriert. Für die Karotis- und Femoralispulskurve wurden die Kanäle 5 und 6 vorgesehen. Die Papiergeschwindigkeit betrug für alle Registrierungen 50 mm/sec. Zur Aufnahme der beiden Pulskurven benutzten wir die Infratonabnehmer nach Boucke und Brecht.

Pulswellengeschwindigkeit und Volumenelastizität wurden nach der von Broemser und Ranke angegebenen Methode aus je 10 Einzelherzaktionen bestimmt:

$$\text{Pulswellengeschwindigkeit} = \frac{\text{Gefäßstrecke}}{\text{Pulszeitverspätung}}$$

$$\text{Volumenelastizität } E' = \frac{Q \cdot c}{Q \cdot S}$$

Q = Maßendichte des Blutes (1,06 g/cm³)

Q = Aortenquerschnitt (Tabelle nach Frucht)

S = Austreibungszeit

Die Prüfung der Signifikanz erfolgte nach den gebräuchlichen statistischen Methoden. Ein signifikanter Unterschied zweier Mittelwerte wird angenommen, wenn die Differenz zwischen beiden größer als 3δ war.

Ergebnisse und Diskussion

1. Das Verhalten der Pulswellengeschwindigkeit bei trainierten alten Sportlern

Seit O. Frank den Zusammenhang von Pulswellengeschwindigkeit (C), Volumenelastizitätsmodul (κ) und Maßendichte des Blutes

(ϱ) in der Gleichung: $C = \sqrt{\frac{\kappa}{\varrho}}$ (m/sec) formuliert, ist es uns möglich, die elastischen Eigenschaften der Gefäße auch am Lebenden zu untersuchen. Durch die Ermittlung der Pulswellengeschwindigkeit erhalten wir bei konstantem ϱ Aufschluß über den Volumenelastizitätsmodul der folgendermaßen definiert ist: $\kappa = \frac{\Delta p}{\Delta v} \cdot v$ (dyn/cm²).

Ein Anstieg des Volumenelastizitätsmodul bedeutet einen Verlust an Dehnbarkeit und äußert sich in einer Erhöhung der Pulswellengeschwindigkeit.

Schon lange ist bekannt, daß die Gefäße im Laufe des Lebens immer mehr an Starrheit zunehmen. Hueck und andere führen diesen Verlust an Weitbarkeit auf eine Vermehrung des Kollagens in den Gefäßwänden zurück. Der Elastizitätsmodul des Kollagens ist aber nach Untersuchungen Burtons und Triebels ungefähr 1000mal so hoch wie der elastischer Fasern. Entsprechend diesen Befunden fanden alle bisherigen Untersucher auch einen Anstieg der Pulswellengeschwindigkeit mit zunehmendem Alter (Hallock, Ludwig, Mellerowicz, Schimmler, Wezler, Wezler und Standl, Herzog und Meurer, Karbaum). Die von verschiedenen Autoren für gleiche Altersgruppen gefundenen Pulswellengeschwindigkeiten weichen aber stark voneinander ab. Diese Unterschiede liegen sehr oft in dem unterschiedlichen Blutdruck der jeweiligen Testpersonen, der nach Frank, Wezler, Ude, Bramwell und Hill, Roy und Grunmach einen starken Einfluß auf das Verhalten der Pulswellengeschwindigkeit in der Weise ausübt, daß sie mit zunehmendem diastolischen Druck ansteigt.

Schimmler hat an 2500 gesunden Versuchspersonen die Pulswellengeschwindigkeit sowohl in Abhängigkeit vom Alter als auch

gleichzeitig vom arteriellen Mitteldruck bestimmt. Durch diese umfangreichen Untersuchungen sind erstmals Bedingungen geschaffen worden, die einen Vergleich der Pulswellengeschwindigkeit nicht nur unter Berücksichtigung des Alters, sondern auch des Blutdrucks und des Geschlechts zulassen.

Mit den Wirkungen von regelmäßig bis ins Alter betriebenen Sport auf die elastischen Eigenschaften der Gefäße hat sich als erster Mellerowicz beschäftigt. Seine Alterskurve über die Pulswellengeschwindigkeit, die aus Werten von 107 gut trainierten männlichen Sportlern mit einem Durchschnittsalter von 41 Jahren entstand, zeigt einen flachen Anstieg und liegt deutlich tiefer als die von Wezler und Standl für die Durchschnittsbevölkerung ermittelte. Schimmler und Schwalb konnten ähnliche Verhältnisse auch dann nachweisen, wenn sie den Blutdruck mit berücksichtigten. Leider ist in dem Kollektiv von Schimmler und Schwalb die Anzahl der über 55 Jahre alten Untersuchten mit insgesamt 9 trainierten Sportlern sehr niedrig, so daß die relativ große Zahl von Sportlern höheren und hohen Alters, die wir untersuchen konnten, für die Beantwortung der Fragestellung sicherlich eine Bereicherung bedeutet.

In Tabelle 1 sind Mittelwerte und Streubreite der Pulswellengeschwindigkeit und des Blutdrucks bei unseren ausdauertrainierten Alterssportlern dargestellt. Daß die Pulswellengeschwindigkeit der Trainierten niedriger liegt als die der Untrainierten gleichen Alters läßt sich aus dem Vergleich mit den von Schimmler gewonnenen Befunden erkennen (Abb. 1). Für die erste Altersgruppe, die sich aus 22 Läufern mit einem mittleren Alter von 57 Jahren zusammensetzt, ergab sich mit 7,56 m/sec. eine gegenüber der durchschnittlich 54jährigen Normalbevölkerung um 1,80 m/sec. niedrigere Pulswellengeschwindigkeit. Die Differenz ist statistisch gesichert. Dasselbe trifft für die 61- bis 65jährigen unserer trainierten Versuchspersonen zu. Ihre mittlere Pulswellengeschwindigkeit beträgt 7,43 m/sec. und ist damit signifikant verschieden vom entsprechenden Wert der Normalbevölkerung, der von Schimmler mit 10 m/sec. an-

Tab. 1 Mittelwerte und Streubreite der Pulswellengeschwindigkeit und des Blutdrucks bei ausdauertrainierten Alterssportlern

Altersgruppen	mittl. Alter	Anzahl der VP	Pulswellengeschwindigkeit (m/sec)			Blutdruck (mm Hg)		
			$\bar{x}_m$	$\bar{\sigma}$	$3 \bar{\sigma}$	p_s	p_d	p_m
55-60	57	22	7,56	0,278	0,834	149	87	118
61-65	62,7	28	7,43	0,29	0,87	153	82	122
66-70	67,1	16	8,97	0,59	1,77	150	87,5	119
71-80	73,5	10	8,52	0,66	1,98	155	85	120

gegeben wird. Dieser Befund gewinnt um so mehr an Bedeutung, als gerade in dieser Altersgruppe der diastolische und der mittlere Blutdruck sich in den beiden Kollektiven nicht signifikant unterscheidet. Für die Altersstufe der 65- bis 70jährigen hat sich wegen der großen Streubreite der Mittelwerte kein signifikanter Unterschied zwischen Sportlern und Nichtsportlern ermitteln lassen. Die Pulswellengeschwindigkeit unserer ältesten Läufer (Durchschnittsalter 73,5) beträgt 8,52 m/sec. im Mittel. Für Normalpersonen entsprechender Gruppe wird von Schimmler eine Pulswellengeschwindigkeit von 10,79 m/sec. angegeben. Die Mittelwertdifferenz ist statistisch signifikant. Es läßt sich also feststellen, daß auch nach dem 65. Lebensjahr die Wirkung einer regelmäßigen körperlichen Aktivität auf die Pulswellengeschwindigkeit der Gefäße erkennbar bleibt.

Einen sicheren Altersgang lassen die Mittelwerte der Pulswellengeschwindigkeit bei den auf Ausdauer Trainierten nicht erkennen. Die

Unterschiede benachbarter Mittelwerte sind statistisch nicht verschieden.

Worin sind nun die Ursachen zu suchen, die unsere Langstreckenläufer selbst im 7. und 8. Lebensdezennium noch mit einer derart niedrigen Pulswellengeschwindigkeit auszeichnen? Da unterschiedliche Blutdruckwerte als Erklärungsmöglichkeit nicht in Frage kommen, müssen andere, die Elastizität der Gefäßwände beeinflussende Faktoren in Erwägung gezogen werden. Als der am schwierigsten zu erfassende Parameter ist wohl die anlagebedingte Konstitution anzusehen. Schimmler und Schwalb geben zu bedenken, ob nicht Sportler von Geburt an bessere körperliche Eigenschaften mitbringen, die unter anderem auch günstigere elastische Verhältnisse der Arterien beinhalten, so daß sie gerade aus diesem Grunde den Weg zu ihrer sportlichen Betätigung gefunden haben. Andererseits ist es unwahrscheinlich, daß die Mehrbelastung, die regelmäßiges Langstreckenlaufen zweifellos für den Kreislauf und damit für die Gefäße

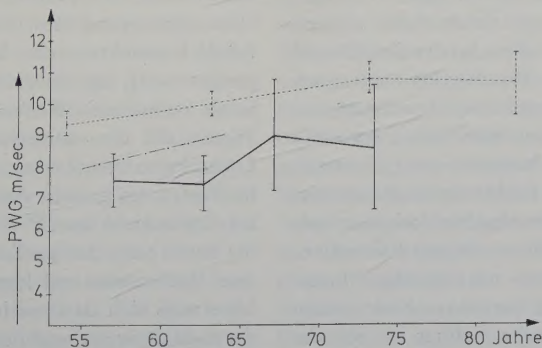


Abb. 1 Die Pulswellengeschwindigkeit bei Trainierten und Untrainierten in Abhängigkeit vom Lebensalter (siehe Text!).

darstellt, gänzlich ohne Wirkung bleibt, wenn man dem Sport und insbesondere dem Ausdauertraining überhaupt eine positive Beeinflussung des kardiopulmonalen Systems zubilligen will. Es könnte eingewandt werden, daß auch die Hypertonie zu einer Mehrbelastung des Herzkreislaufsystems führt und daß diese gerade den gegensätzlichen Effekt, nämlich die vorzeitige Verhärtung der arteriellen Strombahn bedingt (*Karnbaum*). Es ist aber zu berücksichtigen, daß die Hochdruckkrankheit die Gefäßwände praktisch ununterbrochen vermehrt beansprucht, während der Blutdruckanstieg beim sportlichen Training jeweils nur von relativ kurzer Dauer ist. Aber gerade bei kurzen Belastungen wie sie durch Sport gegeben sind, kommt es in den langen Ruhepausen zu einer verbesserten Ökonomie von Herz und Kreislauf (*Mellerowicz*).

Es ist noch zu diskutieren, ob der Kontraktionszustand der glatten Muskulatur der Gefäße auf die Höhe der Pulswellengeschwindigkeit Einfluß hat. Experimentell gesichert scheint zunächst der Befund von *Wexler* und *Böger*, der auch von anderen Autoren (*Alexander*, *Schönenberger* und *Müller*, *Jäger*, *Kulbertus*) bestätigt werden konnte, daß ein verstärkter Kontraktionszustand der Tunica muscularis, sei es pharmakologisch oder auf andere Weise bewirkt, zu einer Senkung der Pulswellengeschwindigkeit und damit auch des Volumenelastizitätsmoduls führt. Möglicherweise entlasten die zirkulär verlaufenden Muskelfasern bei ihrer Kontraktion die zirkulären elastischen Fasern ganz oder teilweise und bestimmen durch ihren eigenen Modul den Tangentialmodul der Gefäßwand ganz oder teilweise. Da aber bis heute noch keine exakten Meßergebnisse über den Modul der arteriellen Tunica muscularis, sei es in erschlafftem noch kontrahiertem Zustand, vorliegen, ist diese Erklärung noch umstritten. Inwieweit die im Vergleich mit der Normalbevölkerung sehr niedrigen Pulswellengeschwindigkeitswerte unserer alten Langstreckler durch eine verstärkte Kontraktion der glatten Muskelzelle bedingt ist, soll die nun folgende Analyse der Volumenelastizität klären helfen.

2. Das Verhalten der Volumenelastizität bei trainierten alten Sportlern

Bekanntlich ist die Volumenelastizität (E), die oft fälschlich als »elastischer Gesamtwiderstand« bezeichnet wird, ganz allgemein für einen elastischen Hohlkörper als das Verhältnis einer Druckänderung (ΔP) zu einer Volumenänderung (ΔV) definiert: $E' = \frac{\Delta P}{\Delta V}$ (dyn/sec⁵).

Nach der Gleichung $\kappa = \Delta P \cdot V / \Delta V$ (siehe oben) kann man auch schreiben: $\kappa = E' \cdot V$ oder $E' = \frac{\kappa}{V}$

Bezogen auf einen Schlauch mit dem Innenradius (R_i) und der Länge (L), wie ihn auch unsere Arterien darstellen, gilt folgende Formel:

$$E' = \frac{\kappa}{R_i^2 \cdot \pi \cdot L}$$

Für den Volumenelastizitätsmodul (κ) eines dünnwandigen elastischen längs fixierten Schlauches mit der Wanddicke (h) gilt näherungsweise folgende Beziehung: $\kappa = \frac{E_t \cdot h}{2 \cdot r_m}$

Darin ist E_t der Elastizitätsmodul der Schlauchwand in Tangentialrichtung und r_m das arhythmische Mittel von Außen- und Innenradius. Aus den beiden letzten Gleichungen erhält man nachstehende Näherungsformel, die uns einen Einblick in die Zusammenhänge von Wandbeschaffenheit und Volumenelastizität eines elastischen Schlauches bzw. der

$$\text{Arterien gewährt: } E' = \frac{E_t \cdot h}{2 \cdot r_m \cdot r_i^2 \cdot \pi \cdot L}$$

Wie man sieht, steht der Radius als 3. Potenz im Nenner; das bedeutet, daß bereits eine kleine Verengung der Gefäße, wie sie z.B. durch Kontraktion der Muskulatur hervorgerufen wird, eine Auswirkung auf E' haben kann. So konnten *Wetterer* und *Piper* durch Mittel, die die muscularis zu vermehrter Kontraktion veranlassen, eine Erhöhung des E' -Wertes des ganzen Arteriensystems erzielen. Somit kann man E' als brauchbares Maß für den Tonus der großen Arterien verwenden (*Gadermann* und *Jungmann*).

Man muß sich darüber im klaren sein, daß die nach *Brömser* und *Ranke* ermittelten E' -Werte nicht unbedingt der Realität im menschlichen Organismus entsprechen. Das gleiche

gilt für ähnliche Formeln, die auf die Volumenelastizität schließen lassen. Dem effektiven E' -Wert kommt aber bei unseren Betrachtungen eine untergeordnete Bedeutung zu, weil es vorwiegend um einen Vergleich (Sportler zu Normalpersonen) von Meßergebnissen geht, die mit der gleichen Methode gewonnen wurden.

Die bei unseren Alterssportlern gewonnenen Mittelwerte für die Volumenelastizität und deren Streuung lassen sich aus Tabelle 2 entnehmen. Aus dem Vergleich mit untrainierten Normalpersonen (Abb. 2) läßt sich ableiten,

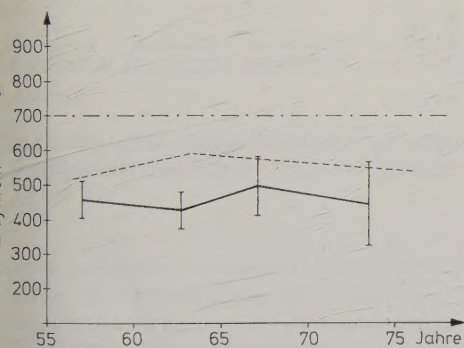


Abb. 2 Die Volumenelastizität bei Trainierten und Untrainierten (siehe Text!).

daß auch die Volumenelastizität bei den Alterssportlern niedriger liegt als bei den untrainierten Normalpersonen gleichen Alters (Schimmler). Der Mittelwert unseres gesamten Kollektivs der Trainierten liegt bei 450 dyn/sec⁵ und ist damit erheblich niedriger als der von Brömser und Ranke sowie von Mellerowicz mit 700 dyn/sec⁵ für alle Altersstufen angegebene Normalwert. Daran ändert sich auch kaum etwas, wenn man in Rechnung stellt, daß diese Autoren den Aortenquerschnitt (Q) aus der Suterschen Tabelle, deren Q um durchschnittlich 0,7 cm² kleiner ist als die von uns gebrauchten Werte aus der Tabelle nach Frucht, abgelesen haben. Statt der 450 dyn/cm⁵ hätten wir für E' 520 dyn/cm⁵ erhalten. Selbst wenn man den von Gadermann und Jungmann angegebenen breitgefaßten Normalbereich von 500 bis 1000 dyn/

cm⁵ zugrunde legt, befinden sich unsere Werte an der untersten Grenze der Norm.

In diesem Zusammenhang sind die Befunde von Mellerowicz interessant. Seine Sportler weisen eine mit zunehmendem Alter abfallende Volumenelastizität auf. Während die 20- bis 30jährigen unter ihnen mit rund 700 Einheiten genau der Norm entsprechen, stimmen die Meßwerte bei den 15 Sportlern zwischen 55 und 81 Jahren dieses Kollektivs gut mit unseren Ergebnissen überein.

Nach der zweiten in diesem Kapitel angegebenen Gleichung erklären sich die kleinen E' -Werte unserer selbst in hohem Alter noch aktiven Sportler durch ein großes Innenvolumen bei kleinem Volumenelastizitätsmodul. Ein Großvolumen könnte jedoch durch die Verwendung der Aortenquerschnittstabellen vorgetäuscht sein; denn es ist möglich, daß die daraus entnommenen Werte der Durchschnittsbevölkerung für Sportler, die über eine bessere Weitrbarkeit der Gefäße verfügen, zu groß ausfallen (Mellerowicz). Diesem Einwand stehen aber die Untersuchungen von Rippel gegenüber, die aus Röntgenbildern bezüglich der Aortenverhältnisse keine wesentlichen Unterschiede gegenüber der Normalbevölkerung nachweisen konnten. Es ist vielmehr anzunehmen, daß der verstärkte Parasympathikotonus, wie er bei Leistungssportlern vorherrscht, auch entspannend auf die glatte Muskulatur der Gefäße wirkt, so daß es zu einer vermehrten Dilatation, besonders der Arterien vom muskulären Typ, und damit zu einer Volumenzunahme kommt. So gesehen, wären unsere kleinen E' -Werte ein Spiegelbild der vagotonen Grundeinstellung unserer alten Langstreckler.

Betrachten wir unter diesem Gesichtspunkt noch einmal das Verhalten der Pulswellengeschwindigkeit, so können wir mit großer Wahrscheinlichkeit sagen, daß die niedrigen Pulswellengeschwindigkeiten nicht durch einen verstärkten Kontraktionszustand der glatten Muskulatur der Arterien bedingt sind. Vielmehr ist an quantitative und qualitative Unterschiede elastischer Fasern in den Arterien von Sportlern und Normalpersonen zu denken.

3. Dehnbarkeit der Gefäße und körperliche Leistungsfähigkeit

Die bisherigen Ergebnisse konnten den Nachweis erbringen, daß Sportler auch in hohem Alter noch über bessere elastische Eigenschaften der Arterien verfügen als die gleichaltrige Normalbevölkerung. Eine Aussage über die Beziehungen der Wandbeschaffenheit der Gefäße zur physischen Leistungsfähigkeit ist darin nur insofern enthalten, als man annehmen darf, daß Sportler im allgemeinen zu größeren körperlichen Leistungen fähig sind als untrainierte Durchschnittspersonen. Im folgenden soll deshalb geprüft werden, ob zwischen erbrachter *körperlicher Leistung und Dehnbarkeit der Gefäße ein direkter Zusammenhang* besteht.

Während sich eine gute Weitbarkeit der Arterien, wie oben beschrieben, in einer niedrigen Pulswellengeschwindigkeit äußert, boten sich als Maßstab für die Leistungsfähigkeit unserer Sportler die beim »Internationalen Altherrenlauf« in Bad Brückenau über 5 km erzielten Zeiten an, zumal die Laufpraktiken dieser Alterssportler ein relatives steady state erkennen lassen. Im Rahmen der Untersuchungen wurden daher innerhalb der einzelnen Altersgruppen die Pulswellengeschwindigkeiten der jeweils schnellsten und langsamsten Läufer denen des Mittelfeldes gegenübergestellt; dabei bestand sowohl die Spitzen- als auch die Nachzüglergruppe jeder Altersstufe nur aus wenigen Versuchspersonen. Diese Beschränkung ergab sich zwangsläufig, weil wir, um einen deutlichen Zeitabstand vom Mittelfeld zu erhalten, nur kleine Gruppen mit extremen Zeiten zum Vergleich heranziehen konnten.

Schon in der ersten Altersklasse der 55- bis 60jährigen zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit zwischen mittleren Laufzeiten und den Durchschnittswerten der Pulswellengeschwindigkeit (Abb. 3a). Je mehr Zeit die Läufer zu dieser 5000-m-Strecke benötigten, um so höher ist auch das Mittel ihrer Pulswellengeschwindigkeit. Bei den schnellsten Läufern dieser Gruppe mit einer mittleren Zeit von 18.46 Minuten beträgt die Pulswellengeschwindigkeit

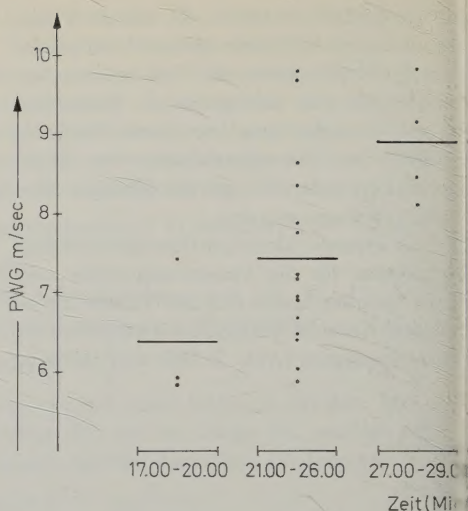


Abb. 3 a Pulswellengeschwindigkeit und Laufzeit bei den 55-60jährigen (siehe Text!).

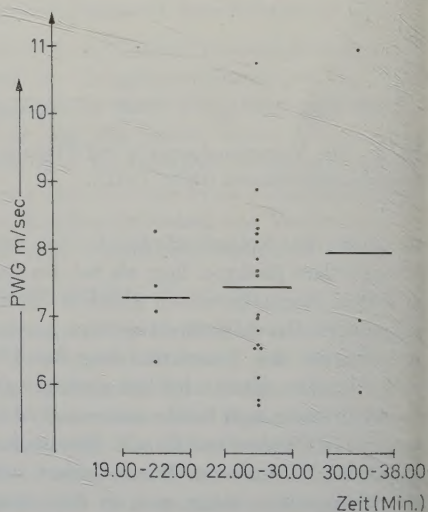


Abb. 3 b Pulswellengeschwindigkeit und Laufzeit über 5000 m bei den 61-65jährigen (siehe Text!).

keit 6,37 m/sec. und liegt damit genau um 2,5 m/sec. unter der Pulswellengeschwindigkeit der langsamsten Sportler, die für die Strecke 27.23 Minuten benötigen.

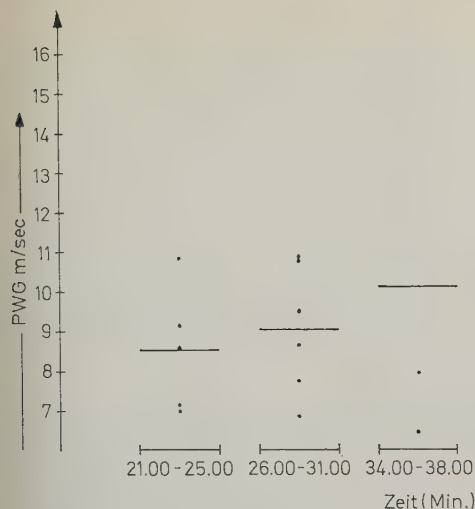


Abb. 3 c Pulswellengeschwindigkeit und Laufzeit über 5000 m bei den 66-70jährigen (siehe Text!).

In der nächsten Altersstufe (61 bis 65 Jahre) treten die Unterschiede der Pulswellengeschwindigkeit, bezogen auf die Laufzeit, nicht so deutlich hervor (Abb. 3b). Dennoch zeichnet sich auch hier das Prinzip ab: Je langsamer die Läufer, um so höher ist ihre Pulswellengeschwindigkeit.

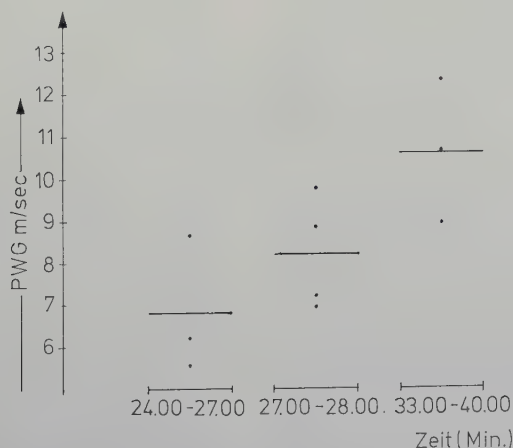


Abb. 3 d Pulswellengeschwindigkeit und Laufzeit über 5000 m bei den über 70jährigen (siehe Text!).

Ähnlich verhält es sich mit der Gruppe der 66- bis 70jährigen. Interessanterweise, die Möglichkeit des Zufalls ist zu berücksichtigen, weist ausgerechnet der Sportler mit der längsten Zeit dieser Altersstufe (37,35 Minuten) auch den extremsten Wert für die Pulswellengeschwindigkeit auf (16,03 m/sec.).

In der ältesten Gruppe (Abb. 3d) verfügen die drei besten Langstreckenläufer mit 6,81 m/sec. über eine überraschend niedrige Pulswellengeschwindigkeit, die sogar kleiner ist als die der Spitzenläufer der 2. Altersklasse. Die drei schlechtesten Läufer stellen dagegen mit 10,63 m/sec. den höchsten Durchschnittswert der Pulswellengeschwindigkeit überhaupt.

Auf Grund unserer Ergebnisse können wir also sagen, daß die besten Sportler jeder Altersklasse auch jeweils über die dehnbareren Arterien verfügen. Dabei ist es keineswegs so, daß die schnellsten dieser Gruppe gleichzeitig die jüngsten sind. In diesem Falle wäre die Leistungsabhängigkeit der Pulswellengeschwindigkeit nichts anderes als ein Anstieg mit dem Alter, wie er ja schon lange bekannt ist. Nur bei den 71- bis 80jährigen Läufern sind die langsamsten zugleich die Ältesten, was sich aber durch Zusammenfassung der zwei ältesten Gruppen erklärt.

Daß das kalendarische Alter der Läufer in bezug auf die Leistungsfähigkeit eine unter-

Tab. 2 Volumenelastizität (E') in den verschiedenen Altersstufen bei ausdauertrainierten Alterssportlern

Altersgruppen	mittl. Alter	Anzahl der VP	Volumenelastizität E' (dyn/cm ⁵)		
			x_m	$\bar{\sigma}$	3 $\bar{\sigma}$
55-60	57	22	457,54	17,9	53,5
61-65	62,7	28	426,42	18	54
66-70	67,1	16	497,75	28,8	86,5
71-80	73,5	10	447	40,3	121

geordnete Rolle spielt, kommt besonders gut zum Ausdruck, wenn man die besten Sportler der letzten Altersklasse (Tab. 2) mit den langsamsten der 55- bis 60jährigen vergleicht. Erstere sind trotz des nicht unerheblichen Altersunterschiedes von 16 Jahren in der Lage, die 5000 m in einer kürzeren Zeit zu bewältigen. Dagegen ist eine ausgesprochene Abhängigkeit zwischen Pulswellengeschwindigkeit, das heißt Elastizität der Gefäße, und körperlicher Leistung zu beobachten. Die schnelleren älteren Sportler verfügen über eine niedrigere Pulswellengeschwindigkeit bzw. bessere Dehnbarkeit der Arterien als leistungsschwächere jüngere Läufer. Darin sehen wir eine neue Bestätigung des alten Grundsatzes: »Der Mensch ist so alt wie seine Gefäße«. Gemeint ist hier das wahre, das heißt das biologische Alter, das sich unter anderem auch in der körperlichen Leistungsfähigkeit äußert. Wieweit biologisches und kalendarisches Alter differieren können, wird durch unsere Befunde eindrucksvoll demonstriert.

Abschließend bleibt die Frage zu erörtern, in welcher Form eine gute Weitbarkeit der Arterien zu einer hohen Leistungsfähigkeit auf den alternenden Organismus beitragen kann. Seit die Brüder *E. H.* und *W. Weber* den Begriff der Windkesselfunktion der Aorta schufen, können wir uns ein Bild von der Wichtigkeit der elastischen Eigenschaften des Arteriensystems für die Ökonomie der Herzarbeit machen. Bekanntlich setzt sich die Arbeit des Herzens aus zwei Komponenten, der Volumenarbeit und der Beschleunigungsarbeit zusammen.

Bei einem gesunden Erwachsenen von 30 Jahren beträgt der Beschleunigungsanteil im linken Ventrikel unter Ruhebedingung nur 1 bis 2%. Unter schwerer Muskelarbeit steigt dieser Anteil auf mehr als 25% an. Ebenso wird mit abnehmender Weitbarkeit der Aorta, wie sie durch die Alterungsprozesse bedingt ist, die Beschleunigungsarbeit bereits in Ruhe erhöht. Ein Herz, das von vornherein durch starre Gefäßwände einer Mehrbelastung ausgesetzt ist, wird weit weniger imstande sein, eine zusätzliche Leistung zu erbringen, als eines, das durch dehnbare Arterien unterstützt wird.

Neben dieser allein das Herz beeinflussenden Wirkung sind die elastischen Eigenschaften des arteriellen Systems als Maßstab für den Umfang der sklerosierenden Alterungsprozesse in den Gefäßwänden besonders wichtig. Berücksichtigt man, daß die Arteriosklerose eine der Hauptursachen für den Leistungsabfall des alternenden Menschen ist, so wird klar, daß eine gute Dehnbarkeit der Gefäße eine grundlegende Voraussetzung für eine hohe Leistungsfähigkeit im Alter sein muß.

Zusammenfassung

74 ausdauertrainierte Alterssportler im Alter von 55 bis 80 Jahren wurden hinsichtlich der Elastizität ihrer Arterien untersucht. Dazu wurden der Volumenelastizitätsmodul und die Pulswellengeschwindigkeit bestimmt und die Befunde denen der Durchschnittsbevölkerung gegenübergestellt.

Um den direkten Zusammenhang zwischen Weitbarkeit des arteriellen Systems und körperlicher Leistungsfähigkeit zu untersuchen, wurden den einzelnen Pulswellengeschwindigkeiten jeweils die über 5000 m erzielten Laufzeiten zugeordnet. Folgende Befunde wurden erhoben:

1. Sportler besitzen auch in hohem Alter noch eine deutlich niedrigere Pulswellengeschwindigkeit bzw. eine bessere Dehnbarkeit ihrer Arterien als untrainierte Vergleichspersonen.
2. Auch der Volumenelastizitätsmodul liegt unter den aus der Literatur entnommener Werten der Normalbevölkerung.

3. Der geringe Volumenelastizitätsmodul, der ein Maß für den Kontraktionszustand der glatten Gefäßmuskulatur darstellt, läßt einen erhöhten Tonus der Tunica muscularis in den großen Arterien als Erklärung für die kleinen Pulswellengeschwindigkeitswerte bei Sportlern nicht zu. Möglicherweise kommen qualitative und quantitative Unterschiede der elastischen Fasern in Betracht.

4. Die schnellsten Läufer verfügen, unabhängig vom Lebensalter, über die bessere Dehnbarkeit der Arterien.

5. Dieser Befund läßt den Schluß zu, daß die Elastizität der Gefäße zu den wichtigsten Parametern der Leistungsfähigkeit des alternen Menschen zu zählen ist.

Summary

Elasticity (E) and pulse wave velocity (c) were examined in 74 trained sportsmen (runners) in the age of 55 till 80. Following findings could be noticed:

1. Sportsmen also in high age showed a more less pulse wave velocity (c) than normal subjects without physical training.
2. Also elastic resistance (E') in the old runners was found more less than in normals.
3. Runners who needed the shortest time to complete a 5000 m distance are characterized by the lowest pulse wave velocity.
4. This finding demonstrates, that elasticity of vessels belongs to the most important parameters of physical capacity in old men.

Literatur

- Alexander, R. S.: The influence of constrictor drugs on the distensibility of the splanchnic venous system analysed on the basis of an aortic model. *Circulat. Res.* 2 (1954) 140
- Bramwell, J. C., A. V. Hill: The velocity of the pulse-wave in man. *Proc. roy. Soc. London* 93 (1922) 298
- Brecht, K., H. Boucke: Neues elektrostatisches Tiefton-Mikrophon und seine Anwendung in der Sphygmographie. *Pflügers Arch.* 256 (1952) 43
- Broemser, Ph., O. F. Ranke: Über die Messung des Schlagvolumens des Herzens auf unblutigem Weg. *Z. Biol.* 90 (1930) 467
- Broemser, Ph., O. F. Ranke: Die physikalische Bestimmung des Schlagvolumens des Herzens *Z. Kreislaufforsch.* 25 (1933) 11
- Burton, A. C.: Relation of structure to function of the tissues of the wall of blood vessels. *Physiol. Rev.* 34 (1954) 619
- Frank, O.: Der Puls in den Arterien. *Z. Biol.* 46 (1905) 441
- Frank, O.: Die Elastizität der Blutgefäße. *Z. Biol.* 71 (1920) 255
- Frank, O.: Die Theorie der Pulswellen. *Z. Biol.* 85 (1926) 91
- Frank, O.: Schätzung des Schlagvolumens des menschl. Herzens auf Grund der Wellen- und Windkesseltheorie. *Z. Biol.* 90 (1930) 405
- Gademmann, E., H. Jungmann: *Klinische Arterienpuls-schreibung*, J. A. Barth, München 1960
- Grunmach, E.: Über die Pulswellengeschwindigkeit bei Erkrankungen des Circulationsapparates sowie bei Einwirkung toxischer Mittel. *Virch. Arch.* 102 (1885) 565
- Hallok, Ph.: Zitiert nach W. Schimmler, *Arch. Kreislaufforsch.* 47 (1965) 189
- Herzog, F., H. Meurer: Untersuchungen zur klinischen Bewertung der Pulswellengeschwindigkeit. *Klin. Wschr.* 18 (1939) 1150
- Hueck, W.: Anatomisches zur Frage nach Wesen und Ursache der Arteriosklerose. *Münch. med. Wschr.* 62 (1920) 535
- Jaeger, M.: Variation du comportement de la paroi carotidienne depuis son prélèvement des artères et son influence sur leur irrigation. *Helv. physiol. pharmacol. Acta.* 20 (1962) 282
- Karnbaum, S.: Kreislauffanalytische Untersuchungen bei Normotonikern. *Z. Kreislaufforsch.* 46 (1957) 709
- Karnbaum, S.: Elastizität und Morphologie des Aortenwindkessels beim Bluthochdruck. *Arch. Kreislaufforsch.* 34 (1961) 18
- Kulbertus, H.: Effect of different vasomotor agents on the viscoelastic behaviour of arteries of the muscular type. *Nature (Lond.)* 199 (1963) 1193
- Ludwig, H.: Die Pulswellengeschwindigkeit bei Gesunden und Kranken. *Z. exper. Med.* 99 (1936) 352
- Mellerowicz, H.: Vergleichende Untersuchungen über das Ökonomieprinzip in Arbeit und Leistung des trainierten Kreislaufs und seine Bedeutung für die präventive Medizin. *Arch. Kreislaufforsch.* 24 (1956) 70
- Ranke, O. F.: Die Theorie der physikalischen Schlagvolumenbestimmung. *Verh. Dtsch. Ges. Kreisf.forsch.* 15 (1949) 1
- Roy, C. S.: The elastic properties of the Arterial Wall *J. Physiol.* 3 (1880) 125
- Schimmler, W.: Untersuchungen zu Elastizitätsproblemen der Aorta. *Arch. Kreislaufforsch.* 47 (1965) 189
- Schimmler, W., H. Schwalb: Über die Elastizität der Aorta bei älteren Sportlern. *Z. Kreislaufforsch.* 54 (1965) 802
- Schönenberger, F., A. Müller: Über die Elastizität und Reaktionsfähigkeit der extracorporalen, im physiologischen Zustand erhaltenen Rinderaorta. *Helv. physiol. pharmacol. Acta.* 18 (1960) 15
- Suter: Naunyn-Schmiedebergs Archiv für experimentelle Pathologie. 39 (1897) 289
- Triepel, H.: Über die elastischen Eigenschaften des elast. Bindegewebes und der glatten Muskulatur. *Anat. Hefte* 10 (1898) 1
- Ude, H.: Die Beurteilung der Aorta mit Hilfe der Pulswellengeschwindigkeit. *Klin. Wschr.* 12 (1933) 1484

Wezler, K.: Abhängigkeit der Arterienelastizität vom Alter und dem Zustand der Wandmuskulatur. Z. Kreislaufforsch. 27 (1935) 721

Wezler, K.: Sitzungsber. Ges. Morph. und Physiol. München 1935

Wezler, K., A. Böger: Die Elastizität des arteriellen Windkessels während der verschiedenen Lebensperioden des Menschen. Z. Kreislaufforsch. 28 (1936) 553

Wezler, K., R. Standl: Die normalen Alterskurven der Pulswellengeschwindigkeit in elastischen und muskulären Arterien des Menschen. Z. Biol. 97 (1936) 265

Wetterer, E., H. Pieper: Über die Gesamtelastizität des arteriellen Windkessels und ein experimentelles Ver-

fahren zu ihrer Bestimmung am lebenden Tier. Z. Biol. 106 (1963) 23

Wetterer, E., Th. Kenner: Dynamik des Arterienpulses. Springer, Heidelberg 1968

Priv.-Doz. Dr. E. Lang und cand. med. W. Wieluch
Med. Poliklinik der Universität
852 Erlangen
Östl. Stadtmauerstraße 29

Lebenslauf

Am 15. März 1944 wurde ich als Sohn des Diplom-Ingenieurs Otmar Wieluch und seiner Ehefrau Hildegard, geb. Kobylanski, in Friedeck, CSSR, geboren. 1950 kam ich in die Volksschule in Erlangen. Von 1954 an besuchte ich die Ohm-Oberrealschule Erlangen, an der ich 1964 das Abitur bestand. Anschließend leistete ich vom Oktober 1964 bis September 1965 Grundwehrdienst ab.

Im Wintersemester 1965/66 immatrikulierte ich mich zum Studium der Medizin an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. 1966 absolvierte ich das Vorphysikum und 1968 die ärztliche Vorprüfung in Erlangen. Die klinischen Semester studierte ich ebenfalls in Erlangen. Nach elf Studiensemestern lege ich im Sommerhalbjahr 1971 die ärztliche Prüfung ab.

Erlangen, 20. April 1970

W. Wieluch

